Titel:

Schaltbare Heatpipe mit strukturintegrierter Formgedächtnisaktorik; Switchable heat pipe with integrated shape memory actuator

Autor:

Schneider, Dorothea; Lauer, Martin; Ohsenbrügge, Christoph

Institution:

Fraunhofer-Gesellschaft; IWU Dresden

Keywords:

Heatpipe, Formgedächtnislegierung, FGL, strukturintegriert, gesteuerter Wärmefluss, heat pipe, shape memory alloy, SMA, smart alloy, smart materials, self-regulating, thermal switch, intelligent temperature control, heat flow, variable conductance

Abstract:

A novel combination of heat pipes and shape memory alloy actuators is proposed. By the integration of a shape memory alloy actuator inside a heat pipe a self-regulating thermal switch is realized applicable to problems that require intelligent temperature control solutions. The underlying concept uses a piston that increases or reduces the available condenser region of the heat pipe according to the current temperature and therefore provides the possibility of enabling or deactivating the heat flux, respectively. Due to the integration of the actuator, no external components are needed for the switch operation.

Datum:

2016-03-21

Bei vielen technischen Anwendungen oder Prozessen muss Energie aus unerwünschter Wärmeentwicklung abgeführt werden. Heatpipes stellen ein effizientes Mittel zur Wärmeübertragung dar, bewirken allerdings in ihrer Standardausführung stets einen Wärmestrom zum Temperaturausgleich zwischen Wärmequelle und –senke. Temperierungsaufgaben mit erhöhten Anforderungen hinsichtlich erlaubter Temperaturgrenzen erfordern eine gezieltere, definierte Abführung des Wärmestroms. Ziel dieser Erfindung ist eine kontrollierte Abführung der Wärme durch eine Heatpipe von einer Quelle in Abhängigkeit des dort vorherrschenden Temperaturniveaus. Die Anforderung kann einerseits darin bestehen, dass bei steigender Temperatur an der Wärmequelle der Wärmestrom erhöht werden soll, um die Temperatur wieder zu senken, oder andererseits der Wärmestrom abgeschaltet werden soll, wenn an der Wärmesenke im Kondensatorbereich eine bestimmte Temperaturgrenze überschritten wird, um das Material in diesem Bereich vor Überhitzung zu schützen.

Aus der Literatur sind diverse Systeme bekannt, die den Wärmestrom dahingehend schalten oder beeinflussen, dass bei Erhöhung der Temperatur entweder mehr Wärme abgeführt wird, oder der Wärmestrom blockiert wird, um den Kondensator zu schützen. Die dieser Erfindung

nahestehenden Lösungen unterteilen sich in drei Bereiche: Heatpipes mit variabler Leitfähigkeit, externe Schaltungen mit Formgedächtnislegierungen (FGL) sowie interne Schaltungen mit FGL.

Heatpipes mit variabler Leitfähigkeit (variable conductance heat pipes – VCHP) nutzen ein Reservoir von nicht kondensierbarem Gas (non-condensable gas, NCG), das mit eingeschlossen ist und einen Teil des Kondensators blockiert. Steigt die Temperatur und damit der Druck in der Heatpipe, wird dieses Gas vom Arbeitsmedium zurückgedrängt, gibt den Kondensatorbereich wieder frei und der übertragbare Wärmestrom steigt. Diese Bauform dient vor allem dem Halten einer konstanten Temperatur am Verdampfer und wird beispielsweise in [1] zur Temperierung einer Sodium-Schwefel-Batterie genutzt. Eine Weiterentwicklung zur Vergrößerung des Arbeitsbereiches einer VCHP besteht in der aktiven Regulierung des Gasreservoirs durch einen Kolben (pressure controlled heat pipe – PCHP), der je nach gewünschtem Temperaturniveau über einen Regelkreis positioniert wird. Dadurch kann der Arbeitsbereich des NCG über einen zusätzlichen Einfluss auf den Innendruck der Heatpipe verschoben und genau eingestellt werden [2].

FGL eignen sich aufgrund ihrer sprunghaften Temperaturkennlinie besonders als Aktoren für die Schaltung von Wärmeströmen. Die Unterbrechung des thermischen Kontakts zwischen einer Heatpipe und der Wärmesenke und damit die externe Zu- und Abschaltung des Wärmestroms wird beispielsweise in [3, 4] durch eine Stellbewegung mittels FGL-Aktoren realisiert. In ähnlicher Weise bewirkt ein FGL-Element die Erwärmung von Getriebeöl ausschließlich bei niedrigen Temperaturen (Kaltstart) mit Abwärme vom Abgasstrang in der patentierten Anordnung von [5]. Bei diesen externen Schaltungen ist der notwendige umgebende Aufbau sowie der Kontaktwärmeübergang an der Spaltstelle als nachteilig zu betrachten.

In [6] wird eine Anordnung patentiert, bei der im Kondensatorbereich der Heatpipe ein Hohlraum vorgesehen ist, der durch einen Stopfen belegt wird. Steigt die Temperatur über einen zulässigen Grenzwert, bewegt ein FGL-Element den Stopfen, sodass das kondensierte Arbeitsmedium in diesem Hohlraum gehalten wird, nicht mehr zum Verdampfer zurückfließen kann und der Wärme-übertragung nicht mehr zur Verfügung steht, um den Kondensator vor Überhitzung zu schützen. Mit einem ähnlichen Wirkungskonzept arbeitet die in [7] beschriebene Heatpipe. Der Rückfluss des Arbeitsfluids erfolgt über ein bewegliches Teilstück der Kapillarstruktur, das durch einen in der Heatpipe befindlichen FGL-Draht verschoben werden kann, um den Fluidkreislauf zu unterbrechen oder zu schließen und so den Wärmestrom aus- oder anzuschalten. Das Zurückhalten des Kondensats ist allerdings mit der Austrocknung des Verdampferbereichs verbunden.

Lösungsweg

Die vorgeschlagene Lösung zur Schaltung von Wärmeströmen sieht prinzipiell vor, innerhalb einer geraden Heatpipe einen FGL-Draht zu spannen, der bei Erhöhung des Temperaturniveaus in der Heatpipe über die Austenit-Umwandlungstemperatur aktorisch wirksam wird und einen Kolben bewegt, der die Verhältnisse hinsichtlich der Wärmeübertragung beeinflusst. Dieser Kolben kann entweder, in Anlehnung an die beschriebene PCHP, auf das Volumen eines NCG einwirken, oder als Bauteil selbst die Blockierung eines bestimmten Kondensatorbereichs bewirken. Die konkrete Gestaltung hängt dabei von der angestrebten Funktion ab. Die beigefügten Prinzipskizzen zeigen vier Ausführungsvarianten:

Skizze 1: Wenn die Temperatur in der Heatpipe steigt und der Draht kontrahiert, bewegt sich der Kolben über die Umlenkeinrichtung nach oben, vergrößert das Reservoir für das NCG und gibt damit unter Senkung des Innendrucks einen größeren Teil des Kondensators wieder frei. Somit kann bei steigender Temperatur der Wärmestrom erhöht werden.

Skizze 2: Wenn die Temperatur in der Heatpipe steigt und der Draht kontrahiert, bewegt sich der im Kondensatorbereich befindliche Kolben aufgrund der Umlenkeinrichtung nach oben und stellt einen größeren Teil des Kondensators für die Wärmeübertragung zur Verfügung. Damit kann bei steigender Temperatur der Wärmestrom erhöht werden.

Skizze 3: Wenn die Temperatur in der Heatpipe steigt und der Draht kontrahiert, bewegt sich der Kolben nach unten und verkleinert das Reservoir für das NCG, welches folglich den Kondensator blockiert. Durch die Unterbrechung des Wärmestroms wird der Kondensatorbereich vor Überhitzung geschützt.

Skizze 4: Wenn die Temperatur in der Heatpipe steigt und der Draht kontrahiert, bewegt sich der Kolben nach unten und blockiert den Kondensator. Durch die Unterbrechung des Wärmestroms wird der Kondensatorbereich vor Überhitzung geschützt.

Die Rückstellfedern sorgen jeweils für den Übergang in den Ausgangszustand, sobald die Temperatur wieder unter die Martensit-Umwandlungstemperatur fällt. Durch die Auswahl einer Legierung mit passenden Umwandlungstemperaturen wird der gewünschte Schalttemperaturbereich eingestellt.

Die vorgeschlagene Erfindung ist eine Kombination und Weiterentwicklung bestehender Lösungen zu einem neuen Aufbau für die Realisierung schaltbarer Wärmeströme. Dabei wird neben der Verwendung von FGL als thermomechanischer Aktorwerkstoff ein Kolben eingesetzt, dessen Verschiebung die thermodynamischen Verhältnisse in der Heatpipe je nach gewünschter Funktion beeinflusst. Die Vorteile des NCG (konstante Temperatur über gewissen Arbeitsbereich) werden in den Prinzipien nach Skizze 1 und 3 beibehalten.

Die Integration des Schaltmechanismus in die Heatpipe erhöht die Funktionalität bei nahezu gleichbleibendem Bauraum. Gegenüber einer PCHP wird kein zusätzlicher Regelkreis mit Sensor, Steuerung und Aktor benötigt, da der FGL-Draht diese Funktionen vereint.

Die Aktivierung des FGL erfolgt rein thermisch und damit selbsttätig, da der Draht die in der Heatpipe herrschende Temperatur annimmt.

Der Wärmeübergang zur Heatpipe wird im Gegensatz zu den Lösungen mit externen Schaltmechanis-men nicht durch zusätzliche Bauteile beziehungsweise Spaltstellen behindert, sodass die Heatpipe mit festen Verbindungen am Verdampfer und Kondensator bestmöglich kontaktiert werden kann.

Ein wesentlicher Vorteil resultiert aus dem hysteresebehafteten Umwandlungsverhalten von FGL. Die Rückstellung erfolgt bei niedrigeren Temperaturen als die Kontraktion der Drähte, sodass sich das System nicht an der Schaltgrenze einschwingen kann.

Generell ist die vorgeschlagene Lösung, die im Inneren einer geschlossenen Heatpipe Anwendung findet, durch Messungen des thermischen Verhaltens möglich. Die innere Struktur der Heatpipe könnte außerdem mittels bildgebender Verfahren (z.B. Röntgen) analysiert werden.

Technisches Anwendungsgebiet

Die Lebensdauer von Traktionsbatterien in Elektrofahrzeugen kann sich drastisch verkürzen, wenn diese bei zu hohen oder zu niedrigen Temperaturen betrieben werden. Bereits eine Überschreitung der Grenztemperatur von 10°C kann eine Halbierung der Lebensdauer bewirken [8]. Demzufolge muss die überschüssige Wärme effizient, gezielt und nur innerhalb eines bestimmten Temperatur-bereiches abgeführt werden. Die beschriebene Erfindung kann im Rahmen eines Thermomanagement-Konzeptes für solche Batterien eingesetzt werden.

Die Varianten der Erfindung, die den Schutz des Kondensators vor zu hohen Temperaturen bewirken, können vor allem in Heatpipes für Solarkollektoren eingesetzt werden, da dort zeitweise sehr hohe Temperaturen auftreten, für die der Kondensationsbereich nicht ausgelegt ist.

Literatur

[1] Watanabe, K.; Kimura, A.; Kawabata, K. et al.: *Development of a Variable-Conductance Heat-Pipe for a Sodium-Sulfur (NAS) Battery.* FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD. In: Furukawa Review; Nr. 20; S. 71-76; 2001. URL: https://www.furukawa.co.jp/review/fr020/fr20_13.pdf

[2] ACT Advanced Cooling Technologies: *Pressure controlled heat pipes.* [Online] Zugriff am: 2015-09-11. URL: http://www.1-act.com/advanced-technologies/heat-pipes/pchp/

[3] Liang, A.; Jackson, M.; Kehl, K. et al.: *Passive thermal switch.* Patentschrift US 2005/0099776 A1. 2005-05-12

[4] Benafan, O.; Notardonato, W. U.; Meneghelli, B. J. et al.: *Design and development of a shape memory alloy activated heat pipe-based thermal switch.* Smart Materials and Structures [Online], 2013, 22(10):105017. DOI: 10.1088/0964-1726/22/10/105017

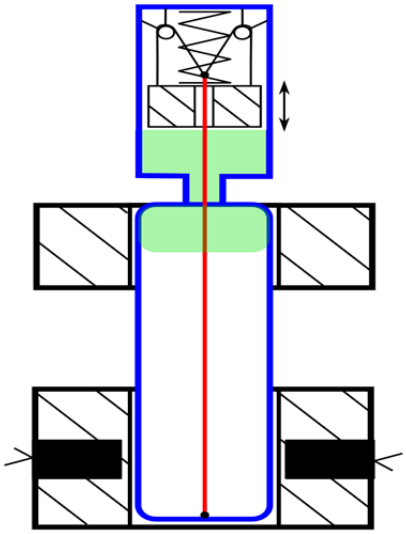
[5] Märkl, J.; Schöffmann, M.: *Kraftfahrzeug mit Einrichtungen zur Erwärmung von Getriebeöl durch Abwärme einer Brennkraftmaschine*. Offenlegungsschrift DE 102010009030 A1. 2011-08-25

[6] Mahdjuri-Sabet, F.: *Wärmerohr*. Patentschrift DE 69102856 T2. 1994-07-13

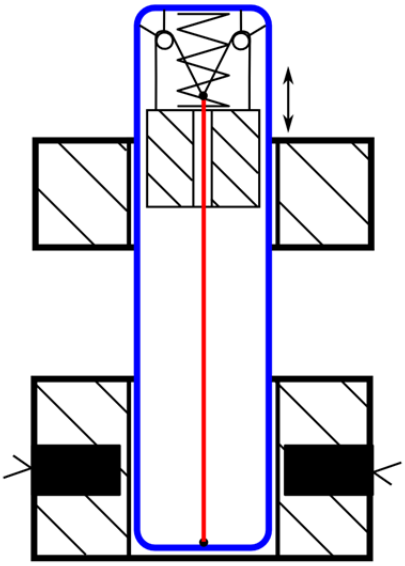
[7] Hyman, N.: *Wick-interrupt temperature controlling heat pipe.* Patentschrift US 005771967A. 1998-06-30

[8] Kappels, T.: *Batterien von Elektroautos - gut gekühlt*. Fraunhofer-Institut UMSICHT, 2012-06-18. In: Forschung kompakt, Heft 07-2012. URL: http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/presse-medien/2012/pdf/fk07_2012_JULI.pdf

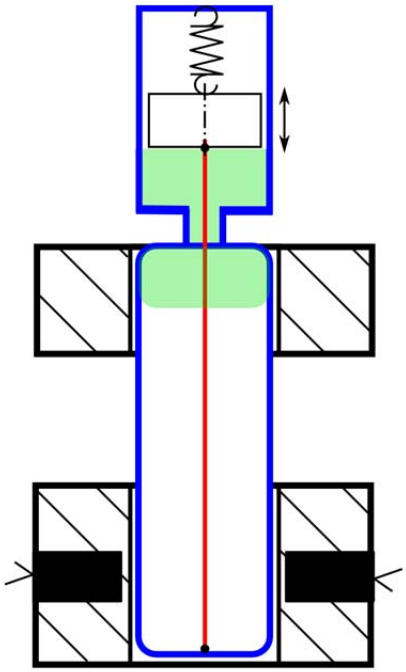
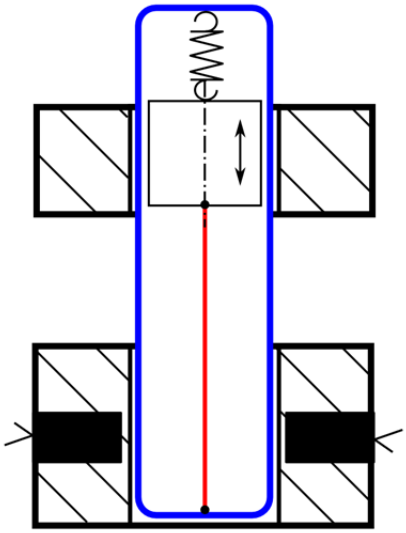
Skizze 1:



Skizze 2:



Skizze 3:



Skizze 4: